

ACE 34

Electronic offprint

Separata electrónica

EFFECTOS DE CO EN LA POBLACIÓN DE LAS INMEDIACIONES DE LOS CRUCES FRONTERIZOS DE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS. CASO DE ESTUDIO: BAJA CALIFORNIA - CALIFORNIA

Julio Alberto Calderón Ramírez, Marcelo Antonio Lomelí Banda, Alejandro Mungaray Moctezuma, Michelle Hallack Alegría y Leonel Gabriel García Gómez

Cómo citar este artículo: CALDERÓN RAMÍREZ, J.; LOMELI BANDA, M.; MUNGARAY MOCTEZUMA, A; HALLACK ALEGRÍA, M. y GARCÍA GÓMEZ, L. *Efectos de CO en la población de las inmediaciones de los cruces fronterizos de México y Estados Unidos. Caso de estudio: Baja California - California* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 12 (34): 29-44, 2017. DOI: 10.5821/ace.12.34.4723. ISSN: 1886-4805.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

c

CO EFFECTS IN THE NEAREST CROSSES BORDER POPULATION BETWEEN MEXICO AND THE UNITED STATES. CASE STUDY: BAJA CALIFORNIA - CALIFORNIA

Key words: Carbon monoxide; border cities; BC-CA; ports of entry

Structured abstract

This research estimates the amount of emissions of carbon monoxide (CO) caused by waiting times at border ports of access (PAF) of Baja California-California, and the possible implications on the population living in neighboring urban areas.

To carry out this investigation the period 2000 is analyzed to 2010 and the definition of population polygons associated with rails vehicular storage of border ports arises, the typological association vehicular their respective CO to subsequently estimate emissions CO with respect to the area of population polygons and finally establish the effects of CO in the population by PAF polygons.

It was observed that the total amount of individual and collective traffic flows have declined by about six million, in addition to residents of the areas surrounding the various PAF analyzed are changing residence to other parts of the interior of the town. On the other hand, in San Ysidro and PAF concentrations Center Mexicali emissions exceed the permitted parameters.

The originality and relevance of this research is that every day at the height of the ports of border access between Mexico and the United States, traffic congestion that result in greenhouse gas emissions which primarily affect the immediate population are created to these ports, so an analysis methodology is proposed to reach results on the effects these emissions cause to the surrounding villagers to the border between the two countries.

EFFECTOS DE CO EN LA POBLACIÓN DE LAS INMEDIACIONES DE LOS CRUCES FRONTERIZOS DE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS. CASO DE ESTUDIO: BAJA CALIFORNIA - CALIFORNIA

CALDERÓN RAMÍREZ, Julio Alberto ¹

LOMELÍ BANDA, Marcelo Antonio ²

MUNGARAY MOCTEZUMA, Alejandro ³

HALLACK ALEGRÍA, Michelle ⁴

GARCÍA GÓMEZ, Leonel Gabriel ⁵

Remisión inicial: 29-01-2016

Remisión final: 13-06-2017

Palabras clave: Monóxido de carbono; ciudades fronterizas; B.C.-CA; puertos de acceso fronterizo

Resumen estructurado

Esta investigación estima la cantidad de emisiones de Monóxido de Carbono (CO) ocasionadas por los tiempos de espera en los Puertos de Acceso Fronterizos (PAF) de Baja California - California, así como las posibles implicaciones que tienen en la población que reside en espacios urbanos aledaños.

Para llevarla a cabo se analiza el periodo del año 2000 al 2010 y se plantea la definición de polígonos poblacionales asociados a los carriles de almacenamiento vehicular de los puertos fronterizos. Además, se realiza una asociación tipológica vehicular con sus respectivas emisiones de CO para posteriormente estimar las emisiones de CO con respecto al área de los polígonos poblacionales y finalmente establecer los efectos del CO en la población por polígonos de PAF.

Se observó que la cantidad total de flujos vehiculares particulares y colectivos han disminuido alrededor de seis millones de unidades, además que los residentes de las zonas aledañas a los distintos PAF analizados están cambiando de residencia a otras partes del interior de la localidad. Por otro lado, en los PAF de San Ysidro, en Tijuana, y Centro, en Mexicali, las concentraciones de emisiones superan los parámetros permitidos.

¹ Profesor – Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California: julio.calderon@uabc.edu.mx

² Profesor – Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California: marcelo.lomeli@uabc.edu.mx

³ Profesor – Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California: alejandro.mungaray@uabc.edu.mx

⁴ Profesor – Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California: mhallack@uabc.edu.mx

⁵ Profesor – Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California: leonel.garcia@uabc.edu.mx

Cada uno de los autores aporta desde su área de especialización, es por ello que el trabajo en conjunto de éstos autores ha permitido realizar una investigación integral, desde un enfoque ambiental, urbano y de transporte.

La originalidad y pertinencia de esta investigación radica en que en los Puertos de Acceso Fronterizo entre México y Estados Unidos, día con día se crean congestionamientos vehiculares que se traducen en emisiones de gases contaminantes que afectan principalmente a la población que reside en los espacios inmediatos. Por ello, se propone una metodología de análisis que permite obtener resultados sobre los efectos que estas emisiones causan a los pobladores aledaños a estos PAF que se ubican sobre la franja fronteriza que existe entre ambos países.

1. Introducción

La presente investigación analiza el volumen de emisiones de CO a los cuales se expone la población que reside en los espacios urbanos aledaños de lado mexicano de los seis Puertos de Acceso Fronterizo (PAF) distribuidos a lo largo de la frontera internacional de Baja California (BC) y California (CA), entre México y Estados Unidos, respectivamente. En este sentido, se establece una relación entre la cantidad y tipología de vehículos que cruzaron la frontera por cada PAF, en dirección sur – norte, durante el periodo entre 2000 y 2010, y las concentraciones de emisiones de CO que estos vehículos han producido en esos mismos años, considerando los tiempos de espera que se generan en los carriles de almacenamiento de las vialidades que brindan accesibilidad a estos recintos fronterizos. Mismos que son ocasionados por las políticas de control migratorio establecidas por el gobierno estadounidense, tanto para el cruce de personas como de mercancías. Los resultados exponen que las personas que se encuentran mayormente expuestas a las emisiones de CO son los habitantes cercanos al PAF de San Ysidro/Puerta México y Mexicali Centro/Calexico. Ambas corresponden con las dos localidades con mayor población del estado de Baja California. Por lo tanto, la vulnerabilidad de presentar síntomas como dolor de cabeza y mareo en un tiempo de exposición entre seis y ocho horas es mayor. Por otra parte, en los PAF Algodones/Andrade y Tecate/Campo entregan concentraciones mayores de CO, sobrepasando las establecidas por los estándares de calidad de aire de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA) de 2011 (76-FR-54394) y la norma oficial mexicana NOM-021-SSA1-1993. En el resto de los PAF, se generan emisiones que se encuentran por debajo de las concentraciones nocivas, evitando que los pobladores aledaños se vean del todo afectados.

Cabe destacar que, en el año 2011 se realizó el *Estudio de emisiones y actividad vehicular en Baja California*, en el cual colaboró el Gobierno de California, el Centro de Transporte Sustentable de México y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). En este estudio se identificaron distintos tipos de emisiones de gases contaminantes de la flota vehicular que transitaba en las principales localidades de Baja California, tales como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos totales (HC) y óxido nítrico (NO), y los resultados fueron comparados con otras ciudades del norte y centro de México. En lo que respecta a las emisiones de CO, las ciudades fronterizas del norte de México son las que producen las mayores cantidades, donde tan solo los vehículos son responsables de más del 90% del total (CTS, 2011).

De acuerdo a lo anterior, el vehículo automotor es una de las principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos, entre ellos de CO (Hernández et al 2005). Esto principalmente se debe al uso de combustibles derivados del petróleo y a que la cantidad de emisiones depende

de la edad, tecnología, uso y mantenimiento de los motores (CTS, 2011). En el año 2010, el 80% de la flota vehicular de Baja California correspondía a vehículos usados importados de los Estados Unidos (INECC, 2011). En general, el 60% de los vehículos que circulan en la entidad tiene más de diez años de antigüedad y son la primera fuente emisora de CO que en mucho se atribuye a su estado físico-mecánico (INECC, 2011). Mientras tanto, en espacios como la Ciudad de México el transporte vial genera la mayoría de los contaminantes atmosféricos, donde el 98% de las emisiones de CO son producto de este sector (SEDEMA, 2012).

Los efectos de respirar el CO, han sido un tema muy estudiado en los últimos años, principalmente en países latinoamericanos donde la calidad de aire y la contaminación son temas focales que repercuten en la salud humana (Téllez et al, 2006; Hernández et al, 2005; Rojas et al, 2001). En algunos casos se habla de problemas cardiovasculares y neuropsicológicos que se han presentado en personas y que están asociados a bajos niveles de concentración de dicho gas (Téllez et al, 2006; Rojas et al, 2001). La emisión de CO que se manifiesta entre la superficie terrestre y estratosfera (zona baja de la atmosfera), es producto de la combustión incompleta del carbono, que generalmente se produce por el transporte vehicular o fuentes móviles (Logan et al, 1981; Peñaloza, 2010) y es incolora e inodora (CORPAIRE, 2004; Téllez et al, 2006). Este gas contaminante al combinarse con la hemoglobina de la sangre, llega a reducir el flujo de oxígeno necesario para el cuerpo humano (INECC, 2007).

De acuerdo a lo anterior, surge la necesidad de analizar el efecto de las emisiones de CO en las personas que viven en las inmediaciones de los cruces fronterizos, en donde se produce un alto congestionamiento vehicular. Con el fin de analizar los efectos negativos que estos pueden producir en la salud de la sociedad afectada.

2. Antecedentes

El estado de Baja California es una de las 32 entidades federativas que integran México. Éste cuenta con una superficie total de 71,446 km² que corresponde el 3.6% de la superficie total del país (SE, 2013), y hace frontera al norte con California y Arizona en Estados Unidos, con una extensión de aproximadamente 220 km. Al sur, lo hace con Baja California Sur, al este con Sonora y Golfo de California y al oeste con el Océano Pacífico. Esta entidad cuenta con cinco áreas municipales que sumaron un total de 2'487,367 habitantes en el 2000, y que ascendió a 3'155,070 habitantes en 2010 (INEGI, 2000; 2010). Lo que indica un aumento de más de 650 mil habitantes en este periodo.

En el 2010, el 82.3% de la población de Baja California se concentraba en los municipios fronterizos de Tijuana, Tecate y Mexicali (INEGI, 2010). Sin embargo, las localidades urbanas de estos municipios que cuentan con uno o dos PAF resguardaron en ese año el 65.1% del total de la población de la entidad. Entre ellas las cabeceras municipales de Tijuana, Tecate, Mexicali y la localidad de Algodones, esta última perteneciente al área municipal de Mexicali. Lo que exhibe la fuerte incidencia que han tenido los PAF en los procesos de estructuración urbana de las ciudades ubicadas en puntos territoriales inmediatos a la línea fronteriza.

Algunas de ellas, cuentan con áreas urbanas relativamente pequeñas, como es el caso de Tecate con 36 km² y Algodones 4 km², mientras que otras cuentan con mayores áreas urbanas y además la presencia de 2 PAF, como Mexicali con 247 km² y Tijuana con 351 km², en ambas su extensión urbana hacia el sur de la frontera, no excede los 13 km lineales (Tabla 1). Por otra parte, en cuanto a densidad poblacional promedio por kilómetro cuadrado (km²) en estas localidades, se observa que Tijuana sobresale con casi 4,500 habitantes, lo que es congruente con que es la localidad con mayor población. Sin embargo, la densidad de Tecate que es un núcleo pequeño, es de 2,808 hab. / km², valor que es incluso mayor que la segunda localidad más importante y capital del estado, Mexicali, que cuenta con 2,792 hab. / km².

Tabla 1. Localidades de Baja California con PAF y su área urbana

Localidad Urbana con PAF	Extensión urbana vertical (km hacia el sur de línea fronteriza)	Extensión urbana horizontal (km dirección este-oeste)	Área urbana aprox. (km ²)	Puertos Acceso Fronterizo (PAF) por localidad y tipos de cruce: A1: No permite cruces de carga, pero si vehículos particulares y colectivos A2: Permite cruce de carga y Tipo A1	Población total 2010	Densidad poblacional media por km ²
Tijuana	13	27	351	San Ysidro/Puerta México. Tipo A1 Otay/Otay Mesa. Tipo A2	1,559,683	4,444
Tecate	4.5	8	36	Tecate/Campo. Tipo A2	101,079	2,808
Mexicali	13	19	247	Mexicali Centro/Calexico. Tipo A1 Mexicali II/Calexico II. Tipo A2	689,775	2,792
Algodones	2	2	4	Algodones/Andrade. Tipo A2	5,474	1,369

Fuente: Elaboración propia

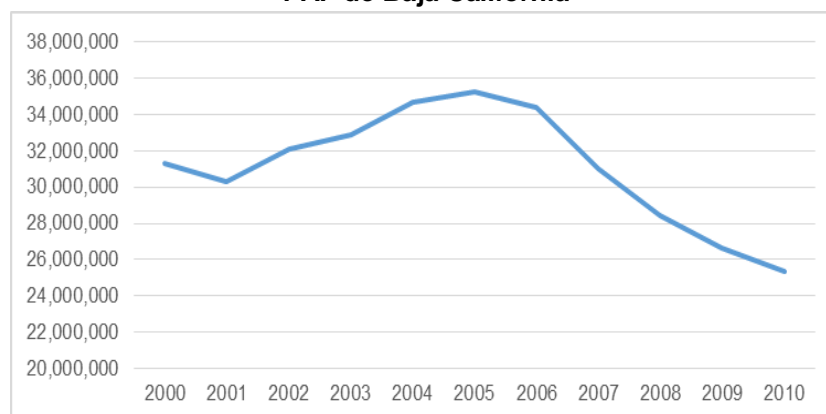
Es importante mencionar que a través de los seis PAF de la frontera de Baja California - California, es por donde se suscita la totalidad de flujos personales y mercantiles entre ambos países. Estos PAF están dotados de personas, equipos e instalaciones que mantienen procedimientos específicos de control peatonal, vehicular y de mercancías (IMT, 2014).

Todos los PAF permiten el cruce de vehículos particulares y colectivos, además de los peatonales (que no han sido considerados para la elaboración de este estudio), mientras que solo cuatro PAF permiten el cruce de camiones de carga, que son: Tecate/Campo, Algodones/Andrade, Mexicali II (Nuevo Mexicali)/Calexico II y Otay/Otay Mesa.

Entre el 2000 y 2010, la cantidad total de flujos vehiculares particulares y colectivos anuales que han cruzado por los seis PAF, en dirección sur – norte, han mostrado un comportamiento ascendente del 2000 al 2005, pasando de 31'299,815 unidades a 35'294,153 unidades (RITA, 2015) exhibiendo un aumento del 13% en esos cinco años.

Posteriormente, se observa un comportamiento descendente del 2005 al 2010, reduciéndose a 25'366,914 unidades, representando un descenso del 28% en esos siguientes cinco años (Figura 1). Estas cifras indican que en una comparativa del 2000 al 2010 se presenta un descenso en cruces en alrededor seis millones de unidades de vehículos particulares y colectivos.

Figura 1. Total de cruces vehiculares y colectivos anuales del 2000 al 2010 por los seis PAF de Baja California



Fuente: Elaboración propia en base al *Research and Innovative Technology Administration (RITA)*, Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation.

A su vez, entre el 2000 y 2010, la cantidad total de flujos anuales de camiones de carga, considerando vacíos y cargados que han cruzado por los cuatro PAF que permiten este tipo de tránsito, en dirección sur – norte, han mostrado un comportamiento mucho más regular, registrando 1'031,546 unidades en el 2000 y presentando pequeñas variaciones que no exceden el 10% cada año, aunque en 2008 se presentó el registro más elevado con 1'178,954 unidades. En 2010, el registro fue de 1'088,707 unidades, lo que representa un aumento del 2000 al 2010 del 5.5%.

Los descensos registrados en los cruces de unidades de vehículos particulares y colectivos se atribuyen a que los controles migratorios, establecidos por Estados Unidos por aspectos de seguridad nacional, representan excesivos tiempos de espera para cruzar la frontera en dirección sur – norte, que muchas veces las personas (aquellas que cuentan con visa) no están dispuestas a realizar. El comportamiento más regular de las cifras de cruce de camiones de carga puede estar relacionado con que los tiempos de espera, aunque son incluso mayores que los de los vehículos particulares y colectivos, están asumidos en costo dentro del valor de los intercambios mercantiles y de su logística, que se suscita a nivel de redes binacionales. En este sentido, estudios realizados por *San Diego Association of Governments (SANDAG)* han establecido que el tiempo promedio de cruce de vehículos particulares es de 45 minutos y que el tiempo promedio de cruce de los camiones de carga es de dos horas (SANDAG, 2006).

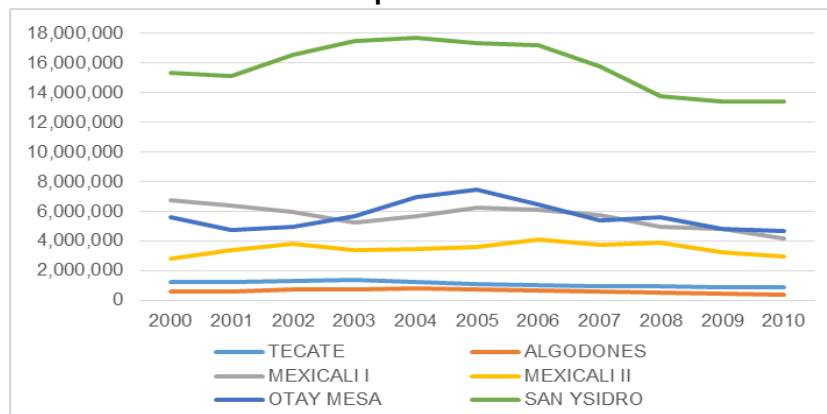
En el marco de este comportamiento general de cruces (suma de registros anuales de todos los PAF del 2000 al 2010) tanto de vehículos particulares y colectivos (Figura 2), como de camiones de carga (Figura 3), se hacen las siguientes comparativas del 2000 al 2010, con observaciones referidas a la situación específica de cada PAF.

En el PAF de San Ysidro/Puerta México se detecta una disminución de cruces del 2000 al 2010 en un 12.3% (RITA, 2015). Particularmente disminuyó en un 30.3% el cruce de autobuses, aunque es evidente que la cantidad de cruces vehiculares que acontecen por este PAF siguen representando la gran mayoría del total de cruces de todo el estado. Por su parte, la cantidad de cruces totales por Otay/Otay Mesa han disminuido en un 15.9% en esos diez años. Aunque el cruce de camiones de carga aumentó un 6%, es contrastante con la disminución del 27.3%

de cruces de autobuses y un 18.8% de vehículos particulares. En el PAF de Tecate/ Campo se presenta una disminución total de un 29.4%, con cruces de camiones de carga que han disminuido en un 12.2%, los autobuses en un 62.2% y los vehículos particulares en un 30.3%. Mientras tanto, en el PAF Mexicali Centro (Mexicali I)/Calexico se tiene registro de una disminución de cruces vehiculares en un 38.5%. En el PAF Mexicali II/Calexico II, los cruces de vehículos particulares, a pesar de que en el 2006 presentaron un aumento de casi el 50%, han retornado en los últimos años a oscilar en los 2.5 millones de cruces, como originalmente ocurría en el 2000.

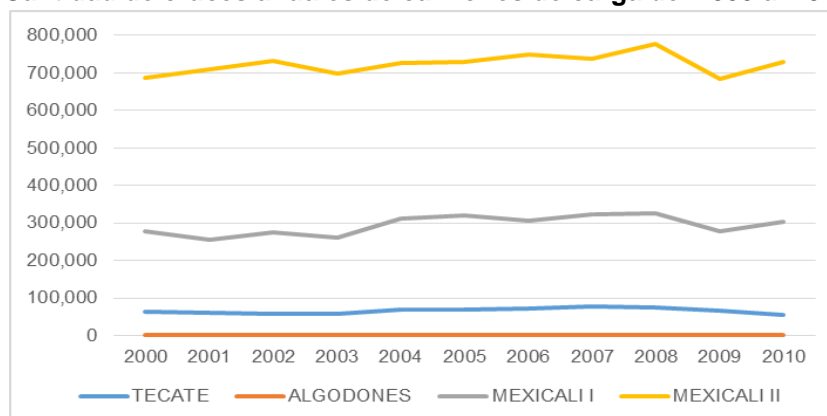
Sin embargo, el cruce de autobuses ha pasado de 222 unidades en el 2000 a 1,897 unidades en 2010, representando un aumento considerable en los cruces colectivos. Sobre los cruces de camiones de carga las cifras se han mantenido en torno a las 300 mil unidades anuales. Por último, en el PAF de Algodones/Andrade los cruces de camiones de carga han disminuido en un 77.5%, mientras que los cruces de vehículos personales lo han hecho en un 35.7%.

Figura 2. Cantidad de cruces anuales de vehículos particulares y colectivos 2000-2010 por PAF



Fuente: Elaboración propia en base a *Research and Innovative Technology Administration (RITA)*, Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation.

Figura 3. Cantidad de cruces anuales de camiones de carga del 2000 al 2010 por PAF



Fuente: Elaboración propia en base a *Research and Innovative Technology Administration (RITA)*, Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation

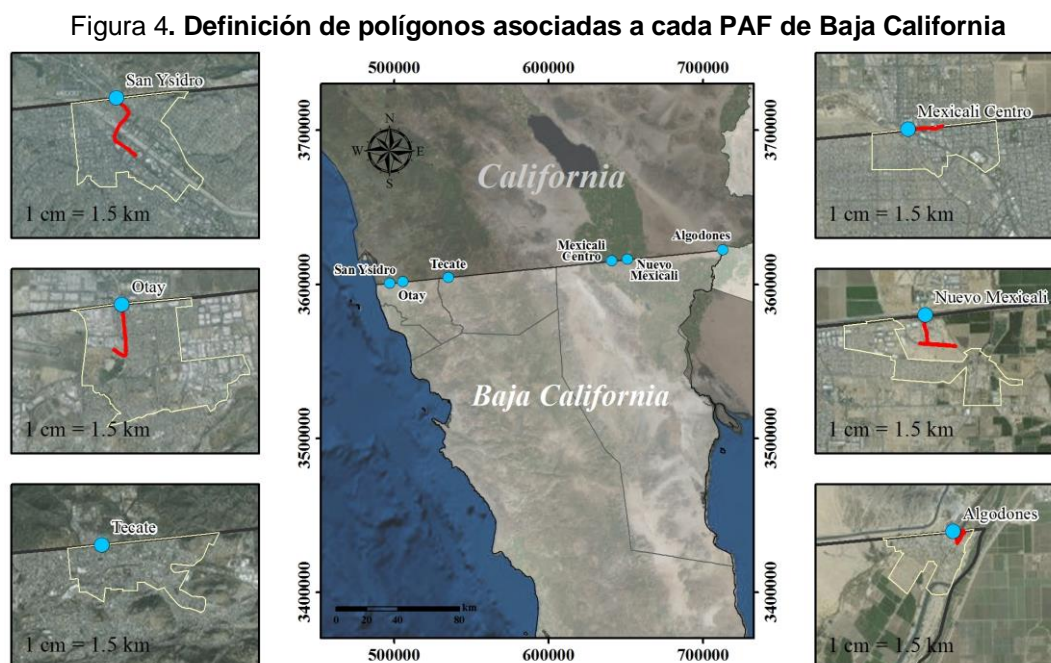
3. Metodología

3.1 Definición de polígonos poblacionales asociados a los carriles de almacenamiento vehicular de los puertos fronterizos

Con el objetivo de identificar los efectos de las emisiones de CO sobre la población inmediata a los PAF, se delimitaron las áreas de estudio específicamente en las zonas inmediatas de cada uno de los seis PAF que han sido considerados para este estudio y sus vialidades de almacenamiento vehicular, donde los vehículos se acumulan en espera para cruzar la frontera en dirección sur – norte (Figura 4).

El área de estudio y cantidad de población directamente afectada se determina mediante el uso de AGEB⁶, definidas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México, tanto del 2000 como del 2010, como unidades oficiales de representación territorial urbana más acotadas dentro de cada una de las localidades. Esto permite identificar detalladamente las particularidades de la población de un polígono específico con respecto al total de población de una ciudad (tabla 2).

La amplitud del área de estudio se obtiene considerando la longitud de la vialidad de almacenamiento y una franja de 1 km de separación a cada lado del eje vial a lo largo de la misma. Por lo tanto, se consideran las AGEB que se encuentran dentro de la zona delimitada por las mismas vialidades (Figura 4).



⁶ Área Geoestadística Básica es la Unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional, cuyo perímetro son los rasgos físicos naturales y/o culturales, normalmente reconocibles y perdurables en el terreno, como calles, avenidas, brechas, límites prediales, etcétera.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Área y población de polígonos

Concepto	Años	San Ysidro	Otay	Mexicali Centro	Nuevo Mexicali	Algodones	Tecate
Área (km ²)	2000- 2010	5.5	7.7	3.1	3.1	2.1	7.8
Población (Hab.)	2010	13,818	33,632	6,402	8,409	5,423	11,992
	2000	16,091	37,732	10,037	9,133	4,157	14,432
	Diferencia	-2273	-4100	-3635	-724	1266	-2440
	(%)	-14.1	-10.9	-36.2	-7.9	30.5	-16.9

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2000 y 2010.

3.2 Asociación entre tipología vehicular y emisiones de CO

En este estudio se consideraron tres tipologías vehiculares de las cuales se obtuvo una concentración de emisiones de CO; vehículos personales (*personal vehicles*), camiones de carga (trucks) y autobuses (buses). Los vehículos incluidos en cada tipología se obtuvieron de la clasificación vehicular del simulador de emisiones MOBILE6.2 del U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA).

En la primera de las tipologías (vehículos personales), se consideraron los vehículos ligeros LDGV y LDGT; en la segunda tipología (camiones de carga), se consideraron los camiones pesados HDDV tipo VIIIa y VIIIb; y en la tercera tipología (autobuses), se consideraron los autobuses urbanos de diésel HDDBT (Tabla 3). La relación de clases vehiculares por tipología se estableció mediante los registros obtenidos de cada puerto fronterizo.

Las tasas o factores de emisiones de CO utilizadas para calcular las concentraciones de CO por tipología vehicular, se obtuvieron de los promedios horarios de emisiones establecidos por la EPA (EPA, 2008a; 2008b). Esta información es obtenida mediante el modelo computacional MOBILE6.2, el cual es utilizado por la EPA para estimar las emisiones totales de contaminantes vehiculares.

Cabe mencionar, que dentro de la metodología implementada en este estudio se considera que la mayor parte del tiempo los vehículos, autobuses y camiones de carga se encuentran encendidos realizando aceleramientos momentáneos para avanzar distancias cortas. Por lo tanto, las concentraciones presentadas por la EPA en vehículos encendidos, a diferencia de las emisiones generadas por los vehículos en movimiento constante, son menores (EPA, 2008a; 2008b). En este sentido, en la tabla 3 se presentan las emisiones de CO generadas para cada tipología de vehículo, utilizadas para calcular las concentraciones de CO.

Tabla 3. Clasificación y descripción vehicular, y tasa de emisiones horaria obtenida con registros vehiculares del 2008 por la EPA, mediante el modelo computacional MOBILE6.2

Tipo RITA	Tipo EPA	Descripción	Emisiones de CO (EPA) (g/hr)
Vehículos personales	LDGV	Light-Duty Gasoline Vehicles (passenger cars)	71.225
	LDGT	Light-Duty Gasoline Trucks, 0 - 8,500 lbs. GVWR (minivans)	72.725
Camiones de carga	HDDV	Heavy-Duty Diesel Vehicles more of 8500 lb. VIIIa: 33,001 – 60,000 lb VIIIb: > 60,000 lb	26.548
			34.473
Autobuses	HDDBT	Diesel Transit and Urban Buses	37.430

Fuente: Elaboración propia con base a *Environmental Protection Agency*.

Sin embargo, debido a que no se cuenta con una base de datos por cada PAF en la que se disgreguen los tipos de vehículos que transitan por los PAF, se realizó un promedio con las emisiones obtenidas de la EPA (Tabla 3). Para la tipología de vehículos personales se promediaron las concentraciones de las clases LDGV y LDGT; para los camiones de carga se promediaron las emisiones de las subclases VIIIa y VIIIb de la clase HDDV. En el caso de los autobuses, únicamente se consideraron las emisiones generadas por autobuses de transporte urbano e interurbano HDDBT.

3.3 Estimación de CO con respecto al área de los polígonos poblacionales

En esta sección de la metodología se utiliza el software ArcMap 10.1 para obtener el área de los polígonos poblacionales en cada PAF durante el periodo 2000-2010. En este sentido, el área se obtuvo mediante la interpolación de las áreas obtenidas con las AGEBS del año 2000 y 2010. En cuanto a las concentraciones totales de CO para cada uno de los PAF, se calcularon anualmente durante el mismo periodo, pero con tiempos de espera distintos. Es decir, en el caso de los vehículos personales y autobuses, se consideró un tiempo de espera promedio de 45 minutos; mientras que, para los camiones de carga, un tiempo de espera de 120 minutos.

El cálculo de las emisiones totales para cada PAF se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$Total\ CO = \left(\sum_{i=1-3}^n T_i * ER \right) / Vol$$

Donde, Total CO representa la concentración anual de emisiones en cada PAF; i=1 representa el total de vehículos personales; i=2 representa el total de autobuses y el i=3 es el total de camiones de carga, todos ellos cruzando a través del PAF; ER representa la tasa de emisiones promedio generadas por cada tipología de vehículo en su respectivo tiempo de espera (ver Tabla 3); Vol representa el volumen en el cual se encuentra la concentración de CO, el cual se obtuvo multiplicando el área anual del AGEBS (m²) * 10,000 (m); considerando que las partículas de CO se encuentran suspendidas dentro de la troposfera (Seiler y Junge, 1970), se realizaron 5 escenarios de las concentraciones de CO a cada 2,000 metros de altura con respecto a la superficie terrestre.

3.4 Efectos del CO en la población por polígonos de PAF

El CO es un gas que se forma durante la incompleta combustión de carbono contenido en los combustibles, y en ciertas concentraciones es nocivo para la salud (Europe & Organization, 2006). El tema de las emisiones en la frontera de Estados Unidos y México ha generado un gran interés en ambos países (Mukerjee, 2001; Sarnat et al., 2012), sin embargo, el crecimiento poblacional de la región producto de la migración no ha permitido encontrar una solución definitiva a esta problemática (Martínez, 1994; Warner, 1991). La evidencia de los efectos nocivos en la salud debido a la exposición del CO es considerable (World Health Organization & Unaid, 2006), ya que existe una relación entre el CO e implicaciones con los órganos humanos, principalmente en la sangre (Nigam, Singh, & Nigam, 2009).

En este sentido, se analizan los posibles efectos de las concentraciones de CO hacia la población aledaña a los PAF mediante las concentraciones obtenidas con los resultados obtenidos durante los años 2000 al 2010. No obstante, existen registros de las concentraciones y los efectos en los seres humanos durante periodos de tiempo de exposición a las concentraciones de CO, como el presentado por Goldstein (2008). Estos registros también presentados por otros autores y dependencias de salud, son internacionalmente reconocidos y se utilizarán como referencia para este estudio (Tabla 4).

El procedimiento consistió en determinar la cantidad de emisiones generadas en cada uno de los PAF mediante la ecuación antes mencionada. Posteriormente, se relacionaron las concentraciones obtenidas con las posibles implicaciones que se generarían producto de la exposición a los mismos.

Tabla 4. Concentraciones de CO y sus síntomas asociados

Concentraciones de monóxido de carbono (mg/m ³)	Signos y síntomas
43	Dolor de cabeza y mareos en un plazo de 6 a 8 horas de exposición constante
123	Dolor de cabeza leve de 2 a 3 horas de exposición constante
247	Dolor de cabeza leve dentro de 2 a 3 horas de exposición constante; pérdida del juicio
493	Dolor de cabeza frontal dentro de 1 a 2 horas de exposición
987	Mareos, náuseas y convulsiones dentro de 45 min; insensibilidad durante 2 horas
1973	Dolor de cabeza, taquicardia, mareos, náuseas en 20 min; la muerte en menos de 2 horas
3947	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 5 a 10 minutos; muerte a los 30 minutos
7893	Dolor de cabeza y mareos en 1 a 2 minutos; convulsiones, paro respiratorio y la muerte en menos de 20 minutos
15786	Muerte en menos de 3 min

Fuente: Modificado de Goldstein (2008).

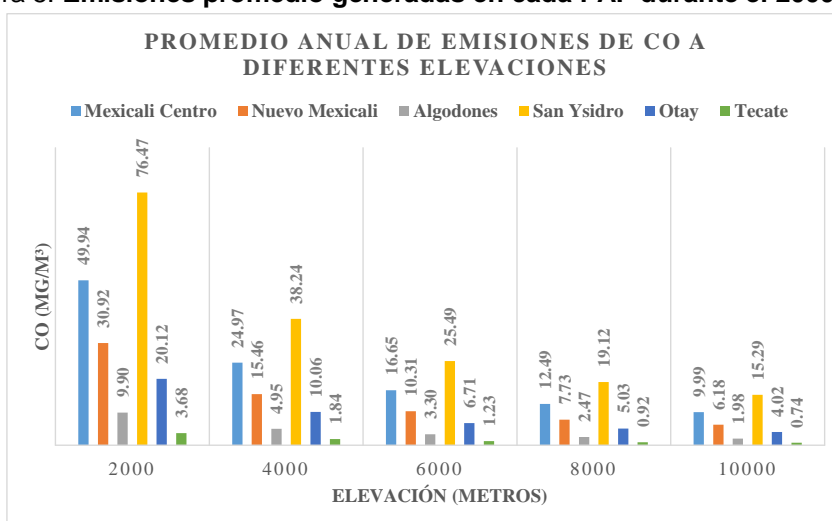
4. Resultados y discusión

Las concentraciones de CO variaron en cada PAF en relación a la elevación a la que fueron calculadas. Por ejemplo, en el PAF de Tecate variaron de 3.68 a 0.74 mg/m³ y en el PAF de San Ysidro de 76.47 a 15.29 mg/m³, siendo estos los accesos con las concentraciones mínimas y máximas durante el periodo 2000-2010 (Tabla 4). Se observó que la mayor concentración de CO en cada uno de los PAF fue a 2000 m de elevación, lo cual es evidente

ya que si se incrementa el espacio de análisis, la misma concentración se distribuye pero en un volumen mayor.

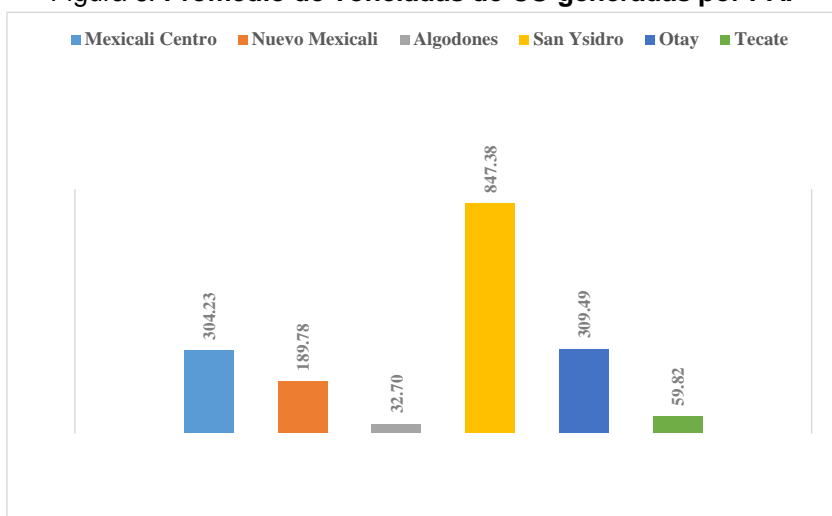
Las personas que se encuentran mayormente expuestas a las emisiones de CO, correspondieron a los habitantes cercanos al PAF de San Ysidro en Tijuana y Mexicali Centro. Por lo tanto, la vulnerabilidad de presentar síntomas como dolor de cabeza y mareo en un tiempo de exposición entre 6 y 8 horas es mayor (Goldstein, 2008). Las concentraciones de CO en los otros PAF se encuentran por debajo de las concentraciones nocivas, evitando que los pobladores se vean afectados. A diferencia de los PAF Algodones y Tecate, se observaron concentraciones de CO de emisiones mayores que sobrepasan las establecidas por los estándares de calidad de aire de la EPA de 2011 (76-FR-54394) y la norma oficial mexicana NOM-021-SSA1-1993.

Figura 5. Emisiones promedio generadas en cada PAF durante el 2000-2010



Fuente: Goldstein, M. (2008).

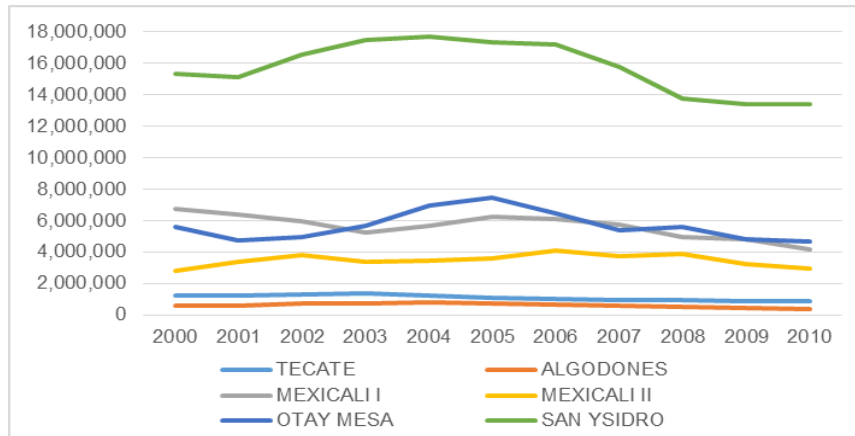
Figura 6. Promedio de Toneladas de CO generadas por PAF



Fuente: Goldstein, M. (2008).

Por otro lado, en cuanto a las emisiones anuales generadas a 2000 metros de elevación, altura a la que se observa mayor concentración de CO, se observa un patrón similar al de los cruces anuales de vehículos particulares y colectivos, lo anterior tiene sentido debido a que las emisiones analizadas son las resultantes de las emisiones de estos vehículos.

Figura 6. Emisiones anuales generadas en cada PAF durante el 2000-2010 a 2000 metros de elevación



Fuente: Goldstein, M. (2008).

5. Conclusiones

5.1 Resultados de cruces vehiculares y emisiones de CO producidas en los polígonos analizados

Entre el 2000 y 2010, la cantidad total de flujos vehiculares particulares y colectivos anuales que han cruzado por los seis PAF de la frontera BC-CA, en dirección sur – norte, han mostrado un comportamiento que presenta un descenso de cruces de alrededor de seis millones de unidades. Mientras que, durante ese mismo periodo, la cantidad total de flujos anuales de camiones de carga, considerando vacíos y cargados, que han cruzado por los cuatro PAF que permiten este tipo de tránsito, también en dirección sur – norte, han mostrado un comportamiento mucho más regular que gira en torno a 1.1 millones de unidades anuales.

Los descensos registrados en los cruces de unidades de vehículos particulares y colectivos se atribuyen a que los controles migratorios para cruzar a Estados Unidos representan excesivos tiempos de espera, que en promedio se estima que giran en torno a los 45 minutos (SANDAG, 2006). El comportamiento más regular de las cifras de cruce de camiones de carga puede estar relacionado con que los tiempos de espera, aunque ascienden en promedio a dos horas (SANDAG, 2006), están asumidos en costo dentro del valor de los intercambios mercantiles y su logística.

Por otro lado, en cuanto a las emisiones de CO producidas por los cruces vehiculares en los polígonos analizados, se observa congruencia entre la cantidad de vehículos particulares y colectivos que cruzan la frontera y la cantidad de emisiones de CO generadas por estos a 2000 metros de elevación.

5.2 *Análisis sobre la concentración poblacional en los polígonos inmediatos a los PAF*

A pesar de que existen distintas variables que pueden influir en el aumento o disminución de la cantidad de personas que habitan en las zonas aledañas a los PAF. Los resultados muestran que, en cuanto al comportamiento poblacional de los polígonos de estudio, cinco de seis decrecieron del 2000 al 2010, todos localizados en cabeceras municipales. El único polígono que aumentó en aproximadamente un 30% su cantidad de población es el localizado en Algodones. Los polígonos en San Ysidro, Tecate y Mexicali I (Centro) son los que percibieron mayor disminución en su población; el primero un 14.1%, el segundo un 16.9% y el tercero un 36.2%. En lo que respecta a los polígonos localizados en los PAF de Otay y Mexicali II (Nuevo Mexicali), de igual manera decrecieron sus cifras poblacionales, aunque de una forma menor.

De acuerdo a lo anterior, los datos indican que en general los residentes de las zonas aledañas a los PAF están cambiando de residencia a otras partes del interior de la localidad. Lo que indica que existen otras zonas de la ciudad que están surgiendo como polos de atracción de las zonas residenciales y/o que las zonas aledañas a los PAF están dejando de ser atractivas para zonas residenciales atrayendo a otro tipo de usos de suelo.

5.3 *Análisis de concentraciones anuales de CO y los posibles efectos sobre la población referida*

Las personas que se encuentran mayormente expuestas a las emisiones de CO, correspondieron a los habitantes cercanos al PAF de San Ysidro en Tijuana y Mexicali Centro. Por lo tanto, la vulnerabilidad de presentar síntomas como dolor de cabeza y mareo en un tiempo de exposición entre seis y ocho horas es mayor (Goldstein, 2008). Las concentraciones de CO en las otras PAF, se encuentran por debajo de las concentraciones nocivas, evitando que los pobladores se vean afectados.

La reducción de 2000 al 2010 de seis millones de cruces de vehículos particulares y colectivos representa una tendencia de reducción a la cantidad de emisiones generadas en los PAF. Las emisiones generadas por la cantidad de camiones de carga representan una menor proporción de concentraciones de CO a las cuales los habitantes están expuestos.

El 62% de las emisiones de CO en Baja California son generadas por el transporte. En el 2000 se tuvo registro de 865,094 vehículos en operación conjuntando la totalidad de localidades del estado y en 2010 ya habían incrementado a 1'461,981 unidades. El fenómeno de aumento importante de vehículos en operación es contrastante con la disminución de vehículos que cruzan la frontera. El profundizar en el análisis sobre el nivel de incidencia que tiene la generación de emisiones de CO ocasionados por los tiempos de espera de cruce en los PAF y comprender los fenómenos de aumento o disminución de la cantidad de cruces vehiculares y los cambios residenciales que se van presentando en sus alrededores son variantes a considerar en la promoción de una planeación urbana más sustentable de estos espacios de ciudad.

Bibliografía

CTS. Centro de transporte sustentable de México A.C. *Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas*. México, D.F., 2011.

CORPAIRE. Corporación para el mejoramiento del aire de Quito. *Índice Quiteño de calidad del aire*. Quito, Ecuador, 2004.

EPA. Environmental Protection Agency *Average Annual Emissions and Fuel Consumption for Gasoline-Fueled Passenger Cars and Light Truck*. Office of Transportation and Air Quality United State, 2008a. 4-5 p.

EPA. Environmental Protection Agency. *Emission Facts Average In-Use Emissions from Urban Buses and School Buses*. Office of Transportation and Air Quality United State, 2008b. 4 p.

GOLDSTEIN, M. *Carbon Monoxide Poisoning*. En: *Journal of Emergency Nursing*, 34 (6): 538-542, December 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jen.2007.11.014>

HERNÁNDEZ, J.; MADRIGAL, D. y MORALES, C. *Comportamiento del monóxido de carbono y el clima en la ciudad de Toluca, de 1995 a 2001*. En: *Ciencia Ergo Sum, Ciencias de la Tierra y de la Atmósfera*. 11 (3): 263-274. Noviembre, 2005.

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*, México. México, D.F., 2007. 23 p.

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. *Estudio de Emisiones y Actividad Vehicular en Baja California*. México. México, D.F., 2011. 105 p.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *XII Censo General de Población y Vivienda*. Aguascalientes, México, 2000.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *XIII Censo de Población y Vivienda*. Aguascalientes, México, 2010.

INSTITUTO Mexicano del Transporte (IMT). *Modelos conceptuales de un puerto fronterizo y plataformas para simular su operación*. Sanfandila, Querétaro, México, 2014.

LOGAN, J.; PRATHER, M.; WOFSY, S. & MCELROY, B. *Tropospheric Chemistry: A Global Perspective*. En: *Journal of Geophysical Research*, 86 (C8): 7210-7254. Agosto 1981.

MARTÍNEZ, O. *Border people: Life and society in the US-Mexico borderlands*. University of Arizona, Press, Tucson. 1994. 243 p.

MUKERJEE, S. *Selected air quality trends and recent air pollution investigations in the US-Mexico border region*. En: The Science of the total environment, 276 (1-3): 1-18. Agosto 2001.

NIGAM, S.; SINGH, K. & NIGAM, R. *Carbon Monoxide Emission and Its Health Impacts*. En: Prakash Shula, Jai (Ed.) New Technologies for Rural Development Having Potential of Commercialisation, 83 (1): 84-91. 2009. ISBN: 978-81-8424-442-7.

PEÑALOZA, N. *Distribución especial y temporal del inventario de emisiones provenientes de las fuentes móviles y fijas de la ciudad de Bogotá, D.C.* Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, 2010.

RITA, Research and Innovative Technology Administration. Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation, 2000-2010. [En línea] [Fecha de consulta: 05 noviembre 2015]. Disponible en: <https://transborder.bts.gov/programs/international/transborder/TBDR_BC/TBDR_BCQ.html>

ROJAS, M.; DUEÑAS, A. y SIDOROVAS, L. *Evaluación de la exposición al monóxido de carbono en vendedores de quioscos. Valencia, Venezuela*. En: Revista Panamericana de Salud Pública /Pan Am J Public Health, 9 (4): 240-244. Abril 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1020-49892001000400006>

SANDAG. San Diego association of Governments. *Economic Impacts of wait times at the San Diego–Baja California Border*. San Diego, California, 2006. [En línea] [Fecha de consulta: 10 noviembre 2015]. Disponible en: <<http://www.sandag.org/index.asp?classid=19&projectid=253&fuseaction=projects.detail>>

SARNAT, S.; RAYSONI, A; LI, W.; HOLGUIN, F.; JOHNSON, B.; LUEVANO, S.; GARCÍA, F. Y SARNAT, J. *Air Pollution and Acute Respiratory Response in a Panel of Asthmatic Children along the U.S.–Mexico Border*. Environmental health perspectives, 2012, vol. 120, no. 3, 437 p.

SE. Secretaría de Economía. *Panorama Minero del Estado de Baja California*. México, 2013. 48 p.

SEDEMA. Secretaría del Medio Ambiente. *Inventario de emisiones contaminantes y de efecto invernadero*, Ciudad de México, 2012. 122 p.

SEILER, W. & JUNGE, C. *Carbon monoxide in the atmosphere*. En: Journal of Geophysical Research, 75 (12): 2217-2226, 1970.

TÉLLEZ, J.; RODRÍGUEZ, A. y FAJARDO, A. *Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental*. En: *Revista de Salud Pública*, 8 (1): 108-117, Abril 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0124-00642006000100010>

WARNER, D. *Health issues at the US-Mexican border*. En: *The JAMA Network*, 265 (2): 242-247, Enero 1991. DOI: [doi:10.1001/jama.1991.03460020096036](https://doi.org/10.1001/jama.1991.03460020096036)

WORLD HEALTH ORGANIZATION & UNAIDS. *Air quality guidelines: global update 2005*. World Health Organization. 2006.